

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

2.1.1 Pengertian tanah

Menurut Hary Christady Hardiyatmo (2002) tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak di atas batuan dasar (*bedrock*). Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap di antara partikel-partikel. Ruang di antara partikel-partikel dapat berisi air, udara maupun keduanya.

Menurut Suyono Sosrodarsono (1984) tanah didefinisikan sebagai partikel-partikel mineral yang tersemen maupun yang lepas sebagai hasil pelapukan dari batuan, dimana rongga pori antar partikel terisi oleh udara dan atau air. Akibat pengaruh cuaca dan pengaruh lainnya, tanah mengalami pelapukan sehingga terjadi perubahan ukuran dan bentuk butirannya. Pelapukan batuan dapat disebabkan oleh pelapukan mekanis, kimia dan organis.

Pelapukan mekanis mengakibatkan pecahnya butiran batuan sehingga terbentuk ukuran yang lebih kecil seperti menjadi kerikil, pasir dan lanau. Sedangkan pelapukan kimia, menghasilkan kelompok partikel koloida berbutir halus dengan ukuran butirnya lebih kecil dari 0,002 mm. Ada berbagai macam jenis-jenis tanah untuk klasifikasi tanah dilapangan antara lain :

1. Pasir dan kerikil

Pasir dan kerikil yaitu agregat tak berkoheesi yang tersusun dari regmin-regmin sub angular atau angular. Partikel berukuran sampai 1/8 inchi dinamakan pasir sedangkan partikel yang berukuran 1/8 inchi sampai 6/8 inchi disebut kerikil. Fragmen bergaris tengah lebih besar dari 8 inchi disebut *boulders* (bongkah).

2. Hardpan

Hardpan merupakan tanah yang tahanan terhadap penetrasi alat pemboran besar sekali. Cirinya sebagian besar dijumpai dalam keadaan bergradasi baik, luar biasa padat, dan merupakan agregat partikel mineral yang kohesif.

3. Lanau anorganik (*inorganic silt*)

Lanau anorganik merupakan tanah berbutir halus dengan plastisitas kecil atau sama sekali tidak ada. Jenis yang plastisitasnya paling kecil biasanya mengandung butiran kuarsa sedimen, yang kadang-kadang disebut tepung batuan (*rockflour*), sedangkan yang sangat plastis mengandung partikel berwujud serpihan dan dikenal sebagai lanau plastis.

4. Lanau organik (*organic silt*)

Lanau organik merupakan tanah agak plastis, berbutir halus dengan campuran partikel-partikel bahan organik terpisah secara halus. Warna tanah bervariasi dari abu-abu terang ke abu-abu sangat gelap, di samping itu mungkin mengandung H₂S, CO₂, serta berbagai gas lain hasil peluruhan tumbuhan yang akan memberikan bau khas kepada tanah. Permeabilitas lanau organik sangat rendah sedangkan kompresibilitasnya sangat tinggi.

5. Lempung

Tanah lempung merupakan agregat partikel-partikel berukuran mikroskopik dan submikroskopik yang berasal dari pembusukan kimiawi unsur-unsur penyusun batuan, dan bersifat plastis dalam selang kadar air sedang sampai luas. Dalam keadaan kering sangat keras, dan tak mudah terkelupas hanya dengan jari tangan. Permeabilitas lempung sangat rendah.

6. Lempung organik

Tanah lempung organik merupakan lempung yang sebagian sifat-sifat fisis pentingnya dipengaruhi adanya bahan organik yang terpisah dalam keadaan jenuh lempung organik cenderung bersifat sangat kompresibel tapi pada keadaan kering kekuatannya sangat tinggi. Warnanya abu-abu tua atau hitam, dan berbau.

7. Gambut (*peat*)

Tanah gambut merupakan agregat agak berserat yang berasal dari serpihan makroskopik dan mikroskopik tumbuh-tumbuhan. Warnanya coklat terang dan hitam bersifat kompresibel, sehingga tidak mungkin menopang pondasi

2.1.2 Sistem klasifikasi tanah

Sistem Klasifikasi Tanah adalah suatu sistem penggolongan yang sistematis dari jenis-jenis tanah yang mempunyai sifat-sifat yang sama ke dalam kelompok-kelompok dan sub kelompok berdasarkan pemakaiannya (Das,1995).

Sistem klasifikasi tanah dibuat pada dasarnya untuk memberikan informasi tentang karakteristik dan sifat-sifat fisis tanah. Karena variasi sifat dan perilaku tanah yang begitu beragam, sistem klasifikasi secara umum mengelompokkan tanah ke dalam kategori yang umum dimana tanah memiliki kesamaan sifat fisis. Klasifikasi tanah juga berguna untuk studi yang lebih terperinci mengenai keadaan tanah tersebut serta kebutuhan akan pengujian untuk menentukan sifat teknis tanah seperti karakteristik pemadatan, kekuatan tanah, berat isi dan sebagainya (Joseph E. Bowles, 1989).

Sistem klasifikasi bukan merupakan sistem identifikasi untuk menentukan sifat-sifat mekanis dan geoteknis tanah. Karenanya, klasifikasi tanah bukanlah satu-satunya cara yang digunakan sebagai dasar untuk perencanaan dan perancangan konstruksi. Adapun sistem klasifikasi tanah yang telah umum digunakan adalah :

1. Sistem klasifikasi kesatuan tanah (*Unified soil classification system*)

Sistem klasifikasi tanah ini yang paling banyak dipakai untuk pekerjaan Teknik Pondasi seperti untuk bendungan, bangunan dan konstruksi yang sejenis. Sistem ini biasa digunakan untuk perencanaan lapangan udara dan untuk spesifikasi pekerjaan tanah untuk jalan.

Sistem klasifikasi berdasarkan hasil-hasil percobaan laboratorium yang paling banyak dipakai secara meluas adalah sistem klasifikasi kesatuan

tanah. Percobaan laboratorium yang dipakai adalah analisa ukuran butir dan batas-batas konsistensi. Klasifikasi berdasarkan *Unified Soil Classification System* (Das. Braja. M, 1988), tanah dikelompokkan menjadi :

- a) Tanah butir kasar (*coarse-grained-soil*) yaitu tanah kerikil dan pasir dimana kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan no.200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal G atau S. G adalah untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil, dan S adalah untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir.
- b) Tanah berbutir halus (*fine-grained-soil*) yaitu tanah dimana lebih dari 50 % berat total contoh tanah lolos ayakan no.200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal M untuk lanau (*silt*) anorganik, C untuk lempung (*clay*) anorganik, dan O untuk lanau organik dan lempung organik. Simbol PT digunakan untuk tanah gambut (*peat*), *muck*, dan tanah-tanah lain dengan kadar organik yang tinggi.

Simbol-simbol lain yang digunakan untuk klasifikasi *USCS*, adalah :

W = tanah dengan gradasi baik (*well graded*)

P = tanah dengan gradasi buruk (*poorly graded*)

L = tanah dengan plastisitas rendah (*low plasticity*), $LL < 50$

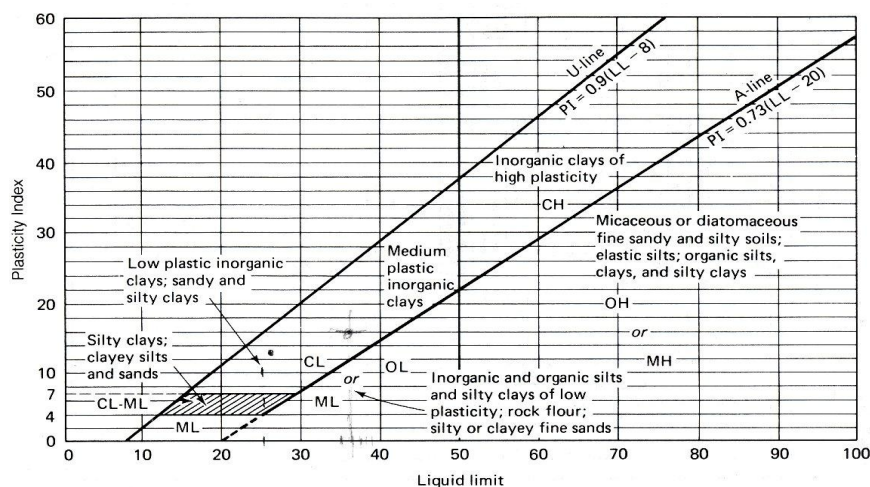
H = tanah dengan plastisitas tinggi (*high plasticity*), $LL > 50$

Tanah berbutir kasar ditandai dengan simbol kelompok seperti : *GW*, *GP*, *GM*, *GC*, *SW*, *SP*, *SM*, dan *SC*. Untuk klasifikasi yang benar, perlu diperhatikan faktor-faktor berikut :

- 1) Persentase butiran yang lolos ayakan No. 200 (fraksi halus)
- 2) Persentase fraksi kasar yang lolos ayakan No. 40
- 3) Koefisien keseragaman (*Uniformity coefficient*, C_u) dan koefisien gradasi (*gradation coefficient*, C_c) untuk tanah dimana 0-12% lolos ayakan No. 200
- 4) Batas cair (LL) dan indeks plastisitas (IP) bagian tanah yang lolos ayakan No. 40 (untuk tanah dimana 5% atau lebih lolos ayakan No. 200)

Divisi	Simbol Kelompok	Nama Jenis	Kriteria Klasifikasi
Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus) Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar (lempungan no. 4 (4,75 mm)) Pasir lebih dari 50% fraksi kasar (lempungan no. 4 (4,75 mm)) Pasir bersih kandungan butiran halus	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3
	GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW
	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$
	GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung	Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$
	SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 60$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ atau 1 dan 3
	SP	Pasir gradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW
	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$
	SC	Pasir berlanau, campuran pasir-lempung	Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm)	ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung	<p>Diagram plastisitas: Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan tanah berbutir kasar. Batas atterberg yang termasuk dalam daerah yang diarsir ber-merk batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol.</p> <p>Batas Cair LL (%) Garis A: $PI = 0,73 (LL - 20)$</p>
	CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus ('clean clays')	
	OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
	MH	Lanau tak organik atau pasir halus diatomae, lanau elastis.	
	CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ('fat clays')	
	OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi	
Tanah dengan organik tinggi		Gambut ('peat'), dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat ASTM Designation D-2488

Gambar 2.1 Sistem Klasifikasi Tanah USCS



Gambar 2.2 Diagram Plastisitas (ASTM)

Tabel 2.1 Sistem Klasifikasi Tanah USCS

Jenis Tanah	Prefiks	Sub kelompok	Sufiks
		Gradasi baik	W
Kerikil	G	Gradasi buruk	P
Pasir	S	Berlanau	M
		Berlempung	C
Lanau	M		
Lempung	C	LL < 50%	L
Organik	O	LL > 50%	H
Gambut	Pt		

(Sumber : Bowles, 1989)

2. Sistem klasifikasi AASHTO (*American Association Of State Highway and Transporting Official*)

Sistem ini membedakan tanah dalam 8 (delapan) kelompok yang diberi nama dari A-1 sampai A-8. A-8 adalah kelompok tanah organik yang bersifat tidak stabil sebagai bahan lapisan struktur jalan raya, maka pada revisi terakhir oleh AASHTO diabaikan (Silvia Sukirman, 1992).

- a) Analisis ukuran butiran.
- b) Batas cair dan batas plastis dan IP yang dihitung.
- c) Batas susut.
- d) Ekuivalen kelembaban lapangan, kadar lembab maksimum dimana satu tetes air yang dijatuhkan pada suatu permukaan yang kecil tidak segera diserap oleh permukaan tanah itu.
- e) Ekuivalen kelembaban sentrifugal, sebuah percobaan untuk mengukur kapasitas tanah dalam menahan air.

Tabel 2.2 Klasifikasi tanah untuk tanah dasar jalan raya, *AASHTO*

Klasifikasi Umum	Bahan-bahan berbutir (35% atau kurang lolos No.200)						
Klasifikasi Kelompok	A-1		A-3	A-2			
	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
% Lolos Analisisa Saringan							
No.10	≤ 50						
No. 40	≤ 30	≤ 50	≤ 51				
No. 200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35
Karateristik fraksi Lolos No.40							
Batas Cair				≤ 40	≤ 41	≤ 40	≤ 41
Indeks Plastisitas	≤ 50		N.P	≤ 10	≤ 10	≤ 11	≤ 10
Indeks Kelompok	0		0	0		≤ 4	
Jenis-jenis bahan pendukung utama	Fragmen batu pasir dan kerikil		Pasir halus	Kerikil dan pasir berlanau atau Berlempung			
Tingkatan umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik						

(Sumber: Mekanika Tanah I, Hardiyatmo)

Tabel 2.3 Klasifikasi tanah sistem *AASHTO*

Klasifikasi Umum	Tanah Granuler	Tanah mengandung Lanau-Lempung				
Kelompok	A-2	A-4	A-5	A-6	A-7	
	A-2-7				A-7-5b	A-7-5c
	Persen Lolos Saringan					
No. 10						
No. 20						
No. 200	35 max	36	36	36 min	36	36 min
Batas Cair ²	41 min	40	41	40 min	40	41 min
Indeks Plastisitas ³	11 min	10 min	10	10 min	10	11 min
Fraksi Tanah	Kerikil, pasir		Lanau		Lempung	
Kondisi Kuat	Sangat Baik		Kurang baik hingga jelek			

(Sumber : Bowles, 1989)

2.2 Mineral Tanah Lempung

2.2.1 Pengertian tanah lempung

Menurut *Terzaghi* (1987) tanah lempung merupakan tanah dengan ukuran mikrokonis sampai dengan sub mikrokonis yang berasal dari pelapukan unsur-unsur kimiawi penyusun batuan.

Sedangkan menurut *Hardiyatmo* (1992) mengatakan sifat-sifat yang dimiliki dari tanah lempung yaitu antara lain ukuran butiran halus lebih kecil dari 0,002 mm, permeabilitas rendah, kenaikan air kapiler tinggi, bersifat sangat kohesif, kadar kembang susut yang tinggi dan proses konsolidasi lambat. Dengan adanya pengetahuan mengenai mineral tanah tersebut, pemahaman mengenai perilaku tanah lempung dapat diamati.

Mineral lempung merupakan senyawa aluminium silikat yang kompleks. Mineral ini terdiri dari dua lempung kristal pembentuk kristal dasar, yaitu silika tetrahedra dan aluminium oktahedra (*Das. Braja M, 1988*).

Das. Braja M (1988) menerangkan bahwa tanah lempung sebagian besar terdiri dari partikel mikroskopis dan sub-mikroskopis (tidak dapat dilihat dengan jelas bila hanya dengan mikroskopis biasa) yang berbentuk lempengan-lempengan pipih dan merupakan partikel-partikel dari mika, mineral-mineral lempung (*clay mineral*), dan mineral-mineral yang sangat halus lain. Tanah lempung sangat keras dalam kondisi kering dan bersifat plastis pada kadar air sedang. Namun pada kadar air yang lebih tinggi lempung akan bersifat lengket (kohesif) dan sangat lunak. Kohesif menunjukkan kenyataan bahwa partikel-partikel itu melekat satu sama lainnya sedangkan plastisitas merupakan sifat yang memungkinkan bentuk bahan itu dirubah-rubah tanpa perubahan isi atau tanpa kembali ke bentuk aslinya dan tanpa terjadi retakan-retakan atau terpecah-pecah.

Dalam klasifikasi tanah secara umum, partikel tanah lempung memiliki diameter 2 μm atau sekitar 0,002 mm (USDA, AASHTO, USCS). Namun demikian, di beberapa kasus partikel berukuran antara 0,002 mm sampai 0,005 mm masih digolongkan sebagai partikel lempung (ASTM-D-653). Disini tanah diklasifikasikan sebagai lempung hanya berdasarkan ukuran saja, namun belum

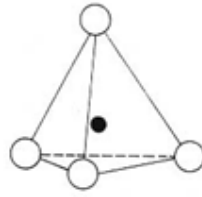
tentu tanah dengan ukuran partikel lempung tersebut juga mengandung mineral-mineral lempung. Jadi, dari segi mineral tanah dapat juga disebut sebagai tanah bukan lempung (*non clay soil*) meskipun terdiri dari partikel-partikel yang sangat kecil (partikel-partikel quartz, feldspar, mika dapat berukuran sub mikroskopis tetapi umumnya tidak bersifat plastis). Partikel-partikel dari mineral lempung umumnya berukuran koloid, merupakan gugusan kristal berukuran mikro, yaitu < 1 μm (2 μm merupakan batas atasnya). Tanah lempung merupakan hasil proses pelapukan mineral batuan induknya, yang salah satu penyebabnya adalah air yang mengandung asam atau alkali, oksigen, dan karbondioksida.

2.2.2 Struktur mineral penyusunan tanah lempung

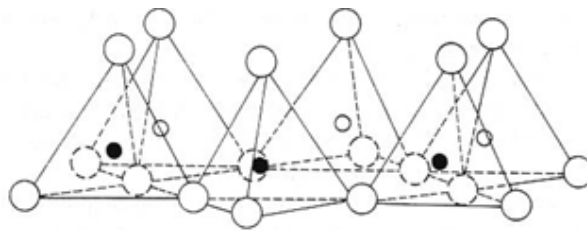
Pelapukan tanah akibat reaksi kimia menghasilkan susunan kelompok partikel berukuran koloid dengan diameter butiran lebih kecil dari 0,002 mm, yang disebut mineral lempung. Partikel lempung berbentuk seperti lembaran yang mempunyai permukaan khusus, sehingga lempung mempunyai sifat yang dipengaruhi oleh gaya-gaya permukaan. Terdapat kira-kira 15 macam mineral yang diklasifikasikan sebagai mineral lempung (Kerr, 1959). Diantaranya terdiri dari kelompok-kelompok : *montmorillonite*, *illite*, *kaolinite*, dan *polygorskite*. Terdapat pula kelompok lain, misalnya : *chlorite*, *vermiculite*, dan *halloysite*.

Dalam terminologi ilmiah, lempung adalah mineral asli yang mempunyai sifat plastis saat basah, dengan ukuran butir yang sangat halus dan mempunyai komposisi berupa *hydrous aluminium* dan *magnesium silikat* dalam jumlah yang besar. Batas atas ukuran butir untuk lempung umumnya adalah kurang dari 2 μm (1 μm = 0,000001m), meskipun ada klasifikasi yang menyatakan bahwa batas atas lempung adalah 0,005 m (ASTM).

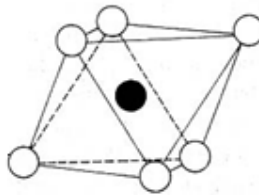
Menurut Das. Braja (1988), satuan struktur dasar dari mineral lempung terdiri dari silika tetrahedron dan aluminium oktahedron. Satuan-satuan dasar tersebut bersatu membentuk struktur lembaran seperti yang digambarkan pada Gambar 2.3 sampai dengan Gambar 2.6 berikut ini. Jenis-jenis mineral lempung tergantung dari komposisi susunan satuan struktur dasar atau tumpuan lembaran serta macam ikatan antara masing-masing lembaran.



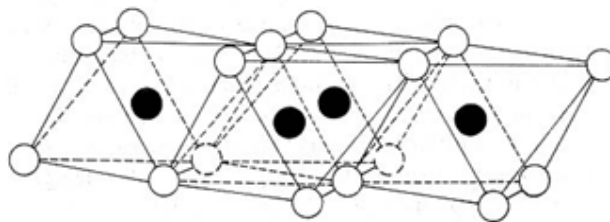
Gambar 2.3 Single silika tetrahedral (Das Braja M, 1988)



Gambar 2.4 Isometrik silika sheet (Das Braja M, 1988)



Gambar 2.5 Single aluminium oktahedron (Das Braja M, 1988)



Gambar 2.6 Isometric oktahedral sheet (Das Braja M, 1988)

Umumnya partikel-partikel lempung mempunyai muatan negatif pada permukaannya. Hal ini disebabkan oleh adanya substitusi isomorf dan oleh karena pecahnya keping partikel pada tepi-tepinya. Muatan negatif yang lebih besar dijumpai pada partikel-partikel yang mempunyai spesifik yang lebih besar.

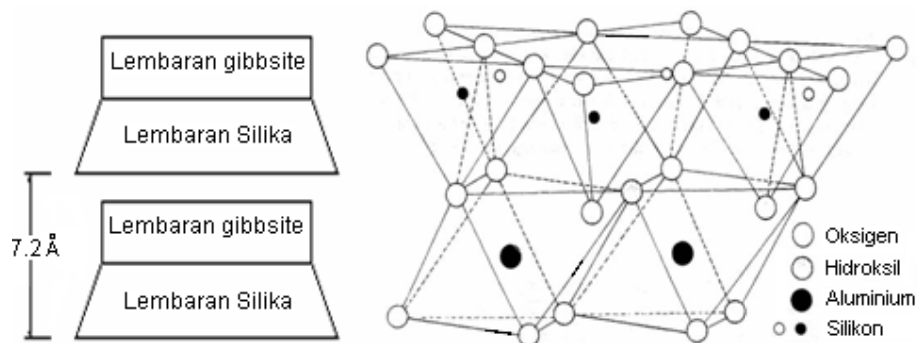
Jika ditinjau dari mineraloginya, lempung terdiri dari berbagai mineral penyusun, antara lain mineral lempung (*kaolinite*, *montmorillonite* dan *illite*

group) dan mineral-mineral lain yang mempunyai ukuran sesuai dengan batasan yang ada (*mika group*, *serpentine group*).

1. *Kaolinite*

Kaolinite merupakan hasil pelapukan sulfat atau air yang mengandung karbonat pada temperatur sedang. Warna *kaolinite* murni umumnya putih, putih kelabu, kekuning-kuningan atau kecoklat-coklatan.

Kaolinite disebut sebagai mineral lempung satu banding satu (1:1). Bagian dasar dari struktur ini adalah lembaran tunggal silika tetrahedral yang digabung dengan satu lembaran alumina oktahedran (*gibbsite*) membentuk satu unit dasar dengan tebal kira-kira 7,2 Å ($1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$) seperti yang terlihat pada Gambar 2.7. hubungan antar unit dasar ditentukan oleh ikatan hidrogen dan gaya bervalensi sekunder. Mineral *kaolinite* berwujud seperti lempengan-lempengan tipis, masing-masing dengan diameter 1000 Å sampai 20000 Å dan ketebalan dari 100 Å sampai 1000 Å dengan luasan spesifik per unit massa $\pm 15 \text{ m}^2/\text{gr}$.

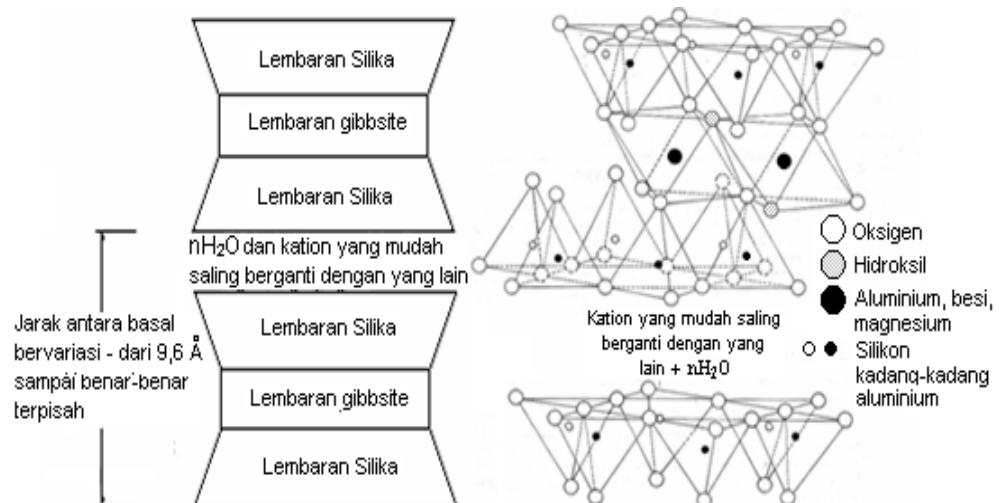


Gambar 2.7 Struktur *kaolinite* (Das Braja M, 1988)

2. *Montmorillonite*

Montmorillonite disebut juga mineral dua banding satu (2:1) karena satuan susunan kristalnya terbentuk dari susunan dua lempeng silika tetrahedral mengapit satu lempeng alumina oktahedral ditengahnya. Struktur kisinya tersusun atas satu lempeng Al_2O_3 diantara dua lempeng SiO_2 . Karena struktur inilah *Montmorillonite* dapat mengembang dan

mengerut menurut sumbu C dan mempunyai daya adsorpsi air dan kation lebih tinggi. Tebal satuan unit adalah 9,6 Å (0,96 µm), seperti ditunjukkan Gambar 2.8 dibawah ini sebagaimana dikutip Das. Braja M (1988). Hubungan antara satuan unit diikat oleh ikatan gaya Van der Walls, diantara ujung-ujung atas dari lembaran silika itu sangat lemah, maka lapisan air (n.H₂O) dengan kation yang dapat bertukar dengan mudah menyusup dan memperlemah ikatan antar satuan susunan kristal mengakibatkan antar lapisan terpisah. Ukuran unit massa sangat besar, dapat menyerap air dengan sangat kuat, mudah mengalami proses pengembangan.



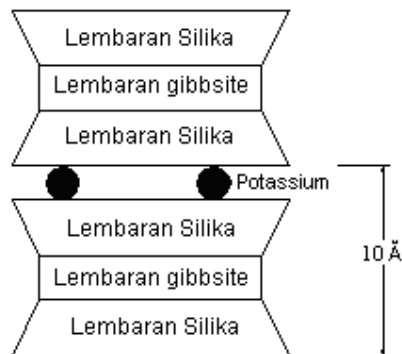
Gambar 2.8 Struktur montmorillonite (Das Braja M, 1988)

3. *Illite*

Mineral *illite* mempunyai hubungan dengan mika biasa, sehingga dinamakan pula *hidrat-mika*. *Illite* memiliki formasi struktur satuan kristal, tebal dan komposisi yang hampir sama dengan montmorillonite. Perbedaannya ada pada :

- Pengikatan antar unit kristal terdapat pada kalium (K) yang berfungsi sebagai penyeimbang muatan, sekaligus sebagai pengikat.
- Terdapat $\pm 20\%$ pergantian silikon (Si) oleh aluminium (Al) pada lempeng tetrahedral.

c) Struktur mineralnya tidak mengembang sebagaimana *montmorillonite*



Gambar 2.9 Struktur illite (Das Braja M, 1988)

Substitusi dari kation-kation yang berbeda pada lembaran oktahedral akan mengakibatkan mineral lempung yang berbeda pula. Apabila ion-ion yang disubstitusikan mempunyai ukuran yang sama disebut *isomorphous*. Bila sebuah anion dari lembaran oktahedral adalah *hydroxyl* dan dua per tiga posisi kation diisi oleh aluminium maka mineral tersebut disebut *gibbsite* dan bila magnesium disubstitusikan kedalam lembaran aluminium dan mengisi seluruh posisi kation, maka mineral tersebut disebut *brucite*.

2.2.3 Karakteristik Fisik Tanah Lempung Lunak

Menurut Bowles (1989), mineral-mineral pada tanah lempung umumnya memiliki sifat-sifat:

1. Hidrasi.

Partikel mineral lempung biasanya bermuatan negatif sehingga partikel lempung hampir selalu mengalami hidrasi, yaitu dikelilingi oleh lapisanlapisan molekul air yang disebut sebagai air teradsorpsi. Lapisan ini pada umumnya mempunyai tebal dua molekul karena itu disebut sebagai lapisan difusi ganda atau lapisan ganda. Lapisan difusi ganda adalah lapisan yang dapat menarik molekul air atau kation disekitarnya. Lapisan ini akan hilang pada temperatur yang lebih tinggi dari 600 sampai 1000°C dan akan mengurangi plastisitas alamiah, tetapi sebagian air juga dapat menghilang cukup dengan pengeringan udara saja.

2. Aktivitas.

Hasil pengujian index properties dapat digunakan untuk mengidentifikasi tanah ekspansif. Hardiyatmo (2006) merujuk pada Skempton (1953) mendefinisikan aktivitas tanah lempung sebagai perbandingan antara Indeks Plastisitas (IP) dengan prosentase butiran yang lebih kecil dari 0,002 mm yang dinotasikan dengan huruf C, disederhanakan dalam persamaan :

$$\text{Aktivitas} = \frac{\text{Indeks Plastisitas}}{C}$$

Untuk nilai $A > 1,25$ digolongkan aktif dan sifatnya ekspansif. Nilai $1,25 < A < 0,75$ digolongkan normal sedangkan nilai $A < 0,75$ digolongkan tidak aktif. Aktivitas juga berhubungan dengan kadar air potensial relatif. Nilai-nilai khas dari aktivitas dapat dilihat pada Tabel 2.4

Tabel 2.4 Aktivitas tanah lempung

Minerologi tanah lempung	Nilai Aktivitas
Kaolinite	0,4 – 0,5
Illite	0,5 – 1,0
Montmorillonite	1,0 – 7,0

Sumber : Skempton (1953)

3. Flokulasi dan Dispersi.

Apabila mineral lempung terkontaminasi dengan substansi yang tidak mempunyai bentuk tertentu atau tidak berkrystal maka daya negatif netto, ion-ion H^+ dari air gaya Van der Waals dan partikel berukuran kecil akan bersama-sama tertarik dan bersinggungan atau bertabrakan di dalam larutan tanah dan air. Beberapa partikel yang tertarik akan membentuk flok (flock) yang berorientasi secara acak atau struktur yang berukuran lebih besar akan turun dari larutan itu dengan cepatnya membentuk sedimen yang lepas. Flokulasi adalah peristiwa penggumpalan partikel lempung di dalam larutan air akibat mineral lempung umumnya

mempunyai $pH > 7$. Flokulasi larutan dapat dinetralkan dengan menambahkan bahan-bahan yang mengandung asam (ion H^+), sedangkan penambahan bahan-bahan alkali akan mempercepat flokulasi. Untuk menghindari flokulasi larutan air dapat ditambahkan zat asam.

4. Pengaruh Zat cair

Fase air yang berada di dalam struktur tanah lempung adalah air yang tidak murni secara kimiawi. Pada pengujian di laboratorium untuk batas Atterberg, ASTM menentukan bahwa air suling ditambahkan sesuai dengan keperluan. Pemakaian air suling yang relatif bebas ion dapat membuat hasil yang cukup berbeda dari apa yang didapatkan dari tanah di lapangan dengan air yang telah terkontaminasi. Air yang berfungsi sebagai penentu sifat plastisitas dari lempung. Satu molekul air memiliki muatan positif dan muatan negatif pada ujung yang berbeda (dipolar). Fenomena hanya terjadi pada air yang molekulnya dipolar dan tidak terjadi pada cairan yang tidak dipolar seperti karbon tetraklorida (CCl_4) yang jika dicampur lempung tidak akan terjadi apapun.

5. Sifat kembang susut (*swelling potensial*)

Plastisitas yang tinggi terjadi akibat adanya perubahan sistem tanah dengan air yang mengakibatkan terganggunya keseimbangan gaya-gaya didalam struktur tanah. Gaya tarik yang bekerja pada partikel yang berdekatan yang terdiri dari gaya elektrostatis yang bergantung pada komposisi mineral, serta gaya Van Der Waals yang bergantung pada jarak antar permukaan partikel. Partikel lempung pada umumnya berbentuk pelat pipih dengan permukaan bermuatan listrik negatif dan ujung-ujungnya bermuatan positif. Muatan negatif ini diseimbangkan oleh kation air tanah yang terikat pada permukaan pelat oleh suatu gaya listrik. Sistem gaya internal kimia-listrik ini harus dalam keadaan seimbang antara gaya luar dan hisapan matrik. Apabila susunan kimia air tanah berubah sebagai akibat adanya perubahan komposisi maupun keluar masuknya air tanah,

keseimbangan gaya-gaya dan jarak antar partikel akan membentuk keseimbangan baru. Perubahan jarak antar partikel ini disebut sebagai proses kembang susut.

Tanah-tanah yang banyak mengandung lempung mengalami perubahan volume ketika kadar air berubah. Perubahan itulah yang membahayakan bangunan. Tingkat pengembangan secara umum bergantung pada beberapa faktor yaitu :

- a) Tipe dan jumlah mineral yang ada di dalam tanah.
- b) Kadar air.
- c) Susunan tanah.
- d) Konsentrasi garam dalam air pori.
- e) Sementasi.
- f) Adanya bahan organik.

2.3 Perkerasan Jalan

Tanah biasanya tidak cukup kuat untuk dapat menahan beban perulangan roda kendaraan, tanpa adanya perubahan-perubahan bentuk yang permanen. Untuk itu suatu struktur perlu diletakan diantara tanah dasar (*sub grade*) dan roda kendaraan, yang berfungsi untuk mengurangi intensitas beban roda kendaraan pada permukaan tanah dasar dan disebut struktur perkerasan jalan.

Menurut Hardiyatmo (1996) kekuatan dan keawetan struktur perkerasan jalan, akan sangat tergantung pada sifat-sifat dan daya dukung tanah dasar. Beberapa permasalahan yang sering muncul tentang keawetan dan kekuatan suatu perkerasan jalan, justru didominasi oleh permasalahan tanah dasarnya. Beberapa sifat yang kurang menguntungkan dari tanah dasar yang dapat menimbulkan permasalahan kerusakan antara lain sifat kembang susut yang besar akibat terjadi perubahan kadar airnya.

Berdasarkan jenis bahan dan konstruksinya, perkerasan jalan dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu perkerasan lentur (*flexible pavement*), perkerasan kaku (*rigid pavement*) dan perkerasan komposit.

1. Perkerasan lentur (*flexible pavement*)

Perkerasan lentur merupakan perkerasan yang menggunakan bahan pengikat berupa aspal dan konstruksinya terdiri dari beberapa lapisan bahan yang terletak di atas tanah dasar. Di atas tanah dasar akan disusun lapisan pondasi bawah (*sub-base course*), lapis pondasi atas (*base course*) dan lapis permukaan (*surface course*).

2. Perkerasan kaku (*rigid pavement*)

Perkerasan kaku merupakan perkerasan jalan yang menggunakan bahan beton, biasanya terdiri atas plat beton sebagai lapis pondasi dan lapis pondasi bawah di atas tanah dasar, dengan atau tanpa tulangan. Beban lalu lintas akan dipikul oleh beton. Faktor yang paling penting untuk diperhatikan dalam perencanaan tebal perkerasan beton adalah kekuatan beton tersebut.

3. Perkerasan komposit

Perkerasan komposit merupakan gabungan konstruksi perkerasan kaku dan perkerasan lentur di atasnya. Kedua jenis perkerasan ini bersama-sama memikul beban lalu lintas. Perkerasan komposit ini biasanya digunakan sebagai landasan pesawat terbang.

2.4 Kapur

Kapur merupakan salah satu material yang cukup efektif untuk proses stabilisasi tanah. Stabilisasi tanah dengan kapur sangat lazim digunakan dalam pekerjaan konstruksi jalan dengan berbagai macam jenis tanah, mulai dari tanah lempung biasa sampai tanah ekspansif.

Kapur yang biasa digunakan dalam stabilisasi adalah kapur padam CaO dan Ca(OH)_2 . Kapur yang digunakan dalam penelitian ini adalah kapur padam (CaO) yang berasal dari Baturaja. Kapur tersebut berasal dari batu kapur (CaCO_3) yang telah dibakar. Kapur hasil pembakaran apabila ditambahkan air akan mengembang dan retak-retak. Banyak panas yang keluar (seperti mendidih) selama proses ini, hasilnya adalah kalsium hidroksida Ca(OH)_2 .

Apabila kapur dengan mineral lempung atau mineral halus lainnya bereaksi, maka akan membentuk suatu gel yang kuat dan keras, yaitu kalsium silikat yang mengikat butir-butir atau partikel tanah (Ingles dan Metcalf, 1972).

2.5 Stabilisasi Tanah

Tanah yang bersifat sangat lepas, sangat mudah tertekan, mempunyai indeks konsistensi yang tidak sesuai, permeabilitas yang terlalu tinggi atau sifat lain yang tidak diinginkan sehingga tidak sesuai untuk suatu konstruksi bangunan maka tanah tersebut harus distabilisasikan. Stabilisasi dapat terdiri dari salah satu tindakan sebagai berikut :

1. Meningkatkan kerapatan tanah
2. Menambah material yang tidak aktif sehingga mempertinggi kohesi dan atau tahanan gesek yang timbul
3. Menambah bahan untuk menyebabkan perubahan-perubahan kimiawi dan atau fisis pada tanah
4. Menurunkan muka air tanah (drainase tanah)
5. Mengganti tanah yang buruk

Sementara itu, menurut Ingles dan Metcalf (1972), stabilisasi tanah dapat dilakukan dengan metode, yaitu :

1. Cara mekanis

Perbaikan tanah dengan menggunakan cara mekanis yaitu perbaikan tanah tanpa penambahan bahan-bahan lainnya. Stabilisasi mekanis biasanya dilakukan dengan menggunakan peralatan mekanis seperti mesin gilas, penumbuk, peledak, tekanan statis dan sebagainya. Tujuan stabilisasi ini adalah untuk mendapatkan tanah yang berdaya dukung baik dengan cara mengurangi volume pori sehingga menghasilkan kepadatan tanah yang maksimum. Metode ini biasanya digunakan pada tanah yang berbutir kasar dengan fraksi tanah yang lolos saringan nomor 200 ASTM paling banyak 25%.

2. Cara kimiawi

Perbaikan tanah dengan cara kimiawi adalah penambahan bahan stabilisasi yang dapat mengubah sifat-sifat kurang menguntungkan dari tanah. Metode stabilisasi ini biasanya digunakan untuk tanah yang berbutir halus. Pencampuran bahan kimia yang sering dilakukan adalah dengan menggunakan semen, kapur, abu batubara dan sebagainya.

Stabilitas tanah dilakukan untuk mengubah sifat-sifat dari material yang ada dan kurang baik menjadi material yang memiliki sifat yang lebih baik sehingga stabilitasi ini dapat memenuhi kebutuhan perencanaan konstruksi yang diinginkan. Pemilihan stabilitasi yang digunakan selalu didasarkan atas respon dari tanah tersebut terhadap stabilitasi yang digunakan. Sifat-sifat dari suatu jenis tanah, sangat mempengaruhi dalam penentuan jenis stabilisasi tanah tersebut. Secara umum ada 4 (empat) karakteristik utama tanah atau sifat tanah yang harus dipertimbangkan sehubungan dengan masalah stabilisasi tanah, yaitu :

1. Stabilitas volume tanah

Perubahan volume tanah berkaitan erat dengan kadar airnya. Banyak jenis tanah lempung yang mengalami susut dan kembang (*shrink and swell*) karena kepekaan terhadap perubahan kadar airnya. Perubahan kadar air ini biasanya terjadi sejalan dengan perubahan musim di wilayah tersebut. Untuk lempung yang ekspansif, bila hal ini terkontrol maka akan terjadi depormasi dan retak-retak pada permukaan jalan.

Untuk mengukur volume yang terjadi biasanya diadakan percobaan *swelling potential* di laboratorium. Namun percobaan di laboratorium belum tentu menunjukkan perubahan yang terjadi di lapangan, karena perubahan volume di lapangan kemungkinan akan lebih kecil akibat adanya pengaruh permeabilitas yang rendah. Masalah ini biasanya diatasi dengan *waterproofing* dengan berbagai macam bahan seperti bitumen, tar dan lain-lain. Cara lain adalah dengan *menstabilisasi pressure* dari lempung.

2. Kekuatan

Perubahan beban *eksternal* yang terjadi umumnya adalah berhubungan dengan perubahan volume karena adanya gaya *internal* yang diakibatkan oleh perubahan kadar air. Banyak percobaan dan praktek di lapangan yang membuktikan hal ini, kecuali pada tanah organik dimana stabilisasi hanya meningkatkan volume tanpa terjadi peningkatan kekuatan.

Pada umumnya parameter yang digunakan untuk mengetahui kekuatan tanah adalah dengan percobaan parameter kuat geser dan daya dukung tanah. Hampir semua jenis stabilisasi berhasil mencapai tujuan ini, namun pada tanah organik hal ini sulit dicapai, jadi lapis tanah organik (*top soil*) sebaiknya tidak digunakan sebagai material yang harus di stabilisasi, melainkan disingkirkan. Pelaksanaan pemadatan yang baik sampai sekarang masih stabilisasi yang diterapkan. Sehingga hampir semua jenis stabilisasi bertujuan untuk meningkatkan stabilitas volume sekaligus meningkatkan kekuatan tanah.

3. Permeabilitas

Untuk lempung, permeabilitas yang terjadi disebabkan sistem *micropore* (sistem pori-pori mikro) dan kapasitasnya. Masalah utama akibat besarnya permeabilitas umumnya adalah timbulnya tekanan air pori dan terjadi aliran perembesan (*seepage flow*). Sedangkan pada tanah lempung, permeabilitas tinggi biasanya diakibatkan karena pelaksanaan pemadatan yang kurang baik. Karena itu masalah ini dapat diatasi dengan pembuatan sistem drainase, pelaksanaan pemadatan dan stabilisasi yang baik.

4. Durabilitas

Durabilitas adalah daya tahan bahan konstruksi terhadap cuaca, erosi dan kondisi lalu lintas di atasnya. Durabilitas yang buruk dapat menimbulkan masalah baik pada tanah alami maupun tanah yang distabilisasi. Dampak yang ditimbulkan tidak terlalu berpengaruh pada struktur perkerasan tetapi lebih banyak terjadi pada permukaan sehingga biaya pemeliharaan jalan cenderung meningkat.

Pada tanah yang distabilisasi, durabilitas yang buruk biasanya diakibatkan oleh pemilihan jenis stabilisasi yang salah, bahan stabilisasi yang tidak cocok atau karena masalah cuaca. Percobaan untuk mengetahui ketahanan material terhadap cuaca dan kondisi lalu lintas sampai sekarang masih sulit dihubungkan dengan keadaan sebenarnya di lapangan.

2.6 Pemadatan Tanah

Pemadatan merupakan usaha untuk mempertinggi kerapatan tanah dengan pemakaian energi mekanis untuk menghasilkan pemampatan partikel. Maksud pemadatan tanah adalah :

1. Mempertinggi kuat geser tanah
2. Mengurangi sifat mudah mampat (kompresibilitas)
3. Mengurangi permeabilitas
4. Mengurangi perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air

Tujuan pemadatan adalah untuk memperbaiki sifat-sifat teknis massa tanah. Beberapa keuntungan yang didapatkan dengan adanya pemadatan adalah :

1. Berkurangnya penurunan permukaan tanah (*subsidence*), yaitu gerakan vertikal didalam massa tanah itu sendiri akibat berkurangnya angka pori
2. Bertambahnya kekuatan tanah
3. Berkurangnya penyusutan-berkurangnya volume akibat berkurangnya kadar air

Tingkat kepadatan tanah diukur dari nilai berat volume keringnya (γ_d). Berat volume kering tidak berubah oleh adanya kenaikan kadar air. Tanah lempung yang dipadatkan dengan cara yang benar akan memberikan kuat geser yang tinggi. Stabilitas terhadap sifat kembang susut tergantung dari jenis mineralnya. Proctor mendefinisikan empat variabel pemadatan tanah, yaitu :

1. Usaha pemadatan (energi pemadatan)
2. Jenis tanah (gradasi, kohesif atau tidak kohesif, ukuran partikel dan sebagainya)

3. Kadar air
4. Berat isi kering

Peristiwa bertambahnya berat volume kering oleh beban dinamis disebut pemadatan. Akibat beban dinamis, butir-butir tanah merapat satu sama lain sebagai berkurangnya rongga udara. Pada awal pemadatan, berat volume kering bertambah dengan ditambahkan kadar air. Ketika kadar air berangsur-angsur ditambah (dengan usaha pemadatan yang sama), berat butiran tanah padat per volume satuan juga bertambah. Kenaikan kadar air justru mengurangi berat volume kering karena air mengisi rongga pori yang sebelumnya diisi oleh butiran padat. Kadar air saat berat volume kering mencapai maksimum (γ_{dmak}) disebut kadar air optimum (W_{opt}).

2.7 CBR (*California Bearing Ratio*)

CBR merupakan suatu perbandingan antara beban percobaan (*test load*) dengan beban standar (*standar load*) dan dinyatakan dalam persen. Nilai CBR adalah nilai yang menyatakan kualitas tanah dasar dibandingkan dengan bahan standar berupa batu pecah yang mempunyai nilai CBR sebesar 100% dengan memikul beban lalu lintas.

Nilai CBR adalah salah satu parameter yang digunakan untuk mengetahui daya dukung tanah dasar dalam perencanaan lapis perkerasan. Bila tanah dasar memiliki nilai CBR yang tinggi akan mengurangi ketebalan lapis perkerasan yang berada diatas tanah dasar (*subgrade*).

Menurut Soedome dan Purnomo (1997), CBR dapat dibagi sesuai dengan cara mendapatkan contoh tanahnya yaitu CBR lapangan (*field CBR*) dan CBR laboratorium (*laboratory CBR*). CBR laboratorium dibedakan menjadi dua macam yaitu CBR laboratorium rendaman (*soaked CBR laboratory*) dan CBR laboratorium tanpa rendaman (*unsoaked CBR laboratory*).

2.8 Prosedur Pengujian Laboratorium

Dalam suatu pengujian laboratorium terdapat beberapa prosedur kerja yang harus diikuti sesuai dengan langkah-langkah kerja yang telah ada dibuku panduan, sehingga pengujian yang dilakukan menghasilkan nilai yang sebenarnya

2.8.1 Pengujian Sifat Fisik Tanah

Sifat fisik tanah yaitu sifat tanah dalam keadaan asli yang digunakan untuk menentukan jenis tanah. Pengujian ini dilakukan pada sampel tanah yang akan digunakan yaitu pengujian pengidentifikasian tanah yang ekspansif. Adapun pengujian ini terdiri dari :

1. Pengujian kadar air (*Water Content*)

Kadar air sangat mempengaruhi perilaku tanah khususnya proses pengembangannya. Lempung dengan kadar air rendah memiliki potensi pengembangan yang lebih tinggi dibandingkan dengan lempung kadar air tinggi (Supriyono, 1993). Hal ini disebabkan karena lempung dengan kadar air alami rendah lebih berpotensi untuk menyerap air lebih banyak.

Rumus :

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{\text{berat air (gr)}}{\text{berat tanah kering (gr)}} \times 100\%$$

Perhitungan :

- Berat cawan kosong (W_1) = gram
- Berat cawan dan tanah basah/asli (W_2) = gram
- Berat cawan dan tanah kering (W_3) = gram
- Berat air ($W_2 - W_3$) = gram
- Berat tanah kering ($W_3 - W_1$) = gram

$$\text{Kadar air} = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100\%$$

2. Pengujian berat jenis (GS) *Specific Gravity*

Berat jenis tanah adalah perbandingan antara berat butir tanah dengan volume tanah padat atau berat air dengan isi sama dengan isi tanah padat tersebut pada suhu tertentu. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui berat jenis butiran tanah.

Rumus :

$$\text{Berat jenis (GS)} = \frac{\text{berat butir tanah}}{\text{volume butir tanah}}$$

Perhitungan :

$$\text{Berat jenis (GS)} = \frac{W_2 - W_1}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)}$$

W_1 = berat piknometer (gram)

W_2 = berat piknometer dan tanah kering (gram)

W_3 = berat piknometer, tanah dan air (gram)

W_4 = berat piknometer dan air (gram)

3. Analisa saringan

Analisa saringan ini dimaksudkan untuk menentukan pembagian ukuran butiran suatu tanah.

Perhitungan :

- Persentase tanah yang tertahan pada masing-masing saringan

$$= \frac{\text{berat tanah yang tertahan}}{\text{berat tanah total}} \times 100\%$$

- Persentase komulatif tanah yang tertahan pada saringan

= jumlah persentase tanah yang tertahan pada semua ayakan

- Persentase tanah lolos saringan

= 100% - persentase komulatif tanah tertahan

4. Pengujian batas-bats konsistensi (*Atterberg Limit*)

Atterberg (1911) mengembangkan suatu metode untuk menjelaskan sifat konsistensi tanah berbutir halus pada air yang bervariasi. *Atterberg limits* yang dimiliki suatu jenis tanah memberikan gambaran akan plastisitas tanah tersebut, dan sangat berhubungan dengan masalah kemampuan pengembangan (*swelling*) dan penyusutan (*shrinkage*). *Atterberg* (1911) memperkenalkan bahwa air yang berkaitan dengan fase-fase perubahan pada tanah lempung adalah batas-batas konsistensi (*atterberg limits*). Pengujian batas-batas konsistensi (*atterberg limit*) dilakukan pada tanah terganggu (*disturbed*). Adapun pengujian batas-batas konsistensi (*atterberg limit*) yang dilakukan adalah :

a. Batas susut (*Shrinkage Limit* / SL)

Batas susut didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara semi padat dan padat, yaitu persentase kadar air maksimum dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak menyebabkan berkurangnya volume tanah. Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan batas susut suatu tanah. *Linier Shrinkage* merupakan persentasi dari panjang asli dari sampel tanah yang diuji.

b. Batas cair (*Liquid Limit* / LL)

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan kadar air suatu tanah pada keadaan batas cair. Pengujian ini dilakukan terhadap tanah yang berbutir halus atau lebih kecil. Batas cair adalah kadar air minimum, yaitu sifat tanah berubah dari keadaan cair menjadi keadaan plastis.

Perhitungan :

- Tentukan kadar air masing-masing variasi dan digambarkan dalam bentuk grafik
- Buatlah garis lurus melalui titik-titik hasil pengujian
- Kadar air didapatkan pada jumlah ketukan 25 kali adalah nilai atas cairnya

Rumus :

$$w = \frac{W_{\text{sampel 1}} - W_{\text{sampel 2}}}{2}$$

- c. Batas plastis (*Plasticity Limit / PL*)

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan kadar air suatu tanah pada keadaan plastis. Batas plastis adalah kadar air minimum, yaitu tanah masih dalam keadaan plastis.

- d. Indeks plastisitas (*Plasticity Index / PI*)

Rumus :

Indeks plastis = batas cair – batas plastis

Table 2.5 Potensi pengembangan berbagai nilai indeks plastisitas

Indeks Plastisitas (PI)	Potensi Pengembangan
0-15	Rendah
10-20	Sedang
20-35	Tinggi
>35	Sangat Tinggi

Sumber : Chen, 1975 (dalam Lashari, 2000)

Table 2.6 Nilai batas-batas *atterberg* untuk mineral lempung

Mineral	Batas Cair	Batas Plastis
Montmorillonite	100-900	50-100
Illite	60-120	35-60
Nontronite	27-72	19-27
Kolonite	30-110	25-40

Sumber : Chen, 1975 (dalam Lashari, 2000)

5. Analisa hidrometer

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan pembagian ukuran butir suatu tanah yang lolos saringan No. 200.

Rumus :

$$\text{Untuk \% lebih halus (N)} = \frac{G_s}{G_s - 1} \frac{V}{W_s} c (r - r_a) \times 100\%$$

Keterangan :

G_s = berat jenis tanah

V = volume suspensi

W_s = berat tanah kering

c = berat jenis air pada suhu pengujian

r = pembacaan hidrometer pada suspensi

r_a = pembacaan hidrometer pada air

2.8.2 Pengujian Sifat Mekanis Tanah

1. Pengujian pemadatan (*compaction*)

Pemadatan merupakan proses dimana tanah yang terdiri dari butiran tanah, air, dan udara diberi energi mekanik seperti penggilaan (*rolling*) dan pergetaran (*vibrating*) sehingga volume tanah akan berkurang dengan mengeluarkan udara pada pori-pori tanah. Untuk pemadatan di laboratorium dapat dilakukan dengan cara, yaitu *Standart Compaction Test* dan *Modified Compaction Test*.

Pengujian pemadatan ini dilakukan untuk mengurangi kompresibilitas dan permeabilitas tanah serta untuk menentukan kadar air optimum yaitu nilai kadar air pada berat kering maksimum. Kadar air optimum yang didapat dari hasil pengujian pemadatan ini digunakan untuk penelitian uji kuat tekan bebas.

Pemadatan tanah ini dilakukan pada asli dan campuran yang menggunakan metode *Standart Compaction Test*. Pengujian ini dipakai untuk menentukan kadar air optimum dan berat isi kering maksimum.

Pemadatan ini dilakukan dalam cetakan dengan memakai alat pemukul dengan tinggi jatuh tertentu.

Perhitungan :

- Berat isi bersih = $\frac{\text{berat tanah}}{1000}$
- Berat isi kering = $\frac{\text{berat isi basah}}{100 + (\text{kadar air sebenarnya})} \times 100\%$
- Berat = berat isi kering x 1000
- Volume tanah kering = $\frac{\text{berat tanah kering}}{G_s}$
- $ZAV = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{1 + \frac{\text{kadar air asumsi}}{100}} \times G_s$

2. Pengujian CBR (*California Bearing Ratio*)

CBR dikembangkan oleh California State Highway Departement sebagai cara untuk menilai kekuatan tanah dasar jalan (*subgrade*). CBR menunjukkan nilai relatif kekuatan tanah, semakin tinggi kepadatan tanah maka nilai CBR akan semakin tinggi. Walaupun demikian, tidak berarti bahwa sebaiknya tanah dasar dipadatkan dengan kadar air rendah supaya mendapat nilai CBR yang tinggi, karena kadar air kemungkinan tidak akan konstan pada kondisi ini. Pemeriksaan CBR bertujuan untuk menentukan harga CBR tanah yang dipadatkan di laboratorium pada kadar air tertentu. Disamping itu, pemeriksaan ini juga dimaksudkan untuk menentukan hubungan antara kadar air dan kepadatan tanah. Pemeriksaan CBR Laboratorium mengacu pada AASHTO T-193-74 dan ASTM-1883-73. Untuk perencanaan jalan baru, tebal perkerasan biasanya ditentukan dari nilai CBR dari tanah dasar yang dipadatkan.

Cara yang dipakai untuk mendapatkan nilai CBR yang digunakan untuk perencanaan ditentukan dengan perhitungan dua faktor (Wesley, 1977) yaitu :

- a. Kadar air tanah serta berat isi kering pada waktu pemadatan
- b. Perubahan kadar air yang mungkin akan terjadi setelah perkerasan selesai dibuat

Nilai CBR sangat bergantung kepada proses pemadatan. Selain digunakan untuk menilai kekuatan tanah dasar atau bahan lain yang hendak dipakai, CBR juga digunakan sebagai dasar untuk menentukan tebal lapisan dari suatu perkerasan serta untuk menilai subgrade yang dipadatkan hingga mencapai kepadatan kering maksimum, dan membentuk profil sesuai yang direncanakan.

Hasil pengujian dapat diperoleh dengan mengukur besarnya beban pada penetrasi tertentu. Besarnya penetrasi sebagai dasar menentukan CBR adalah 0,1” dan 0,2”. Dari kedua nilai perhitungan digunakan nilai terbesar dihitung dengan persamaan berikut :

- Penetrasi 0,1” (0,254 cm)

$$\text{CBR (\%)} = \frac{P1 \text{ (psi)}}{1000 \text{ (psi)}} \times 100\%$$

- Penetrasi 0,2 “ (0,508 cm)

$$\text{CBR (\%)} = \frac{P2 \text{ (psi)}}{1500 \text{ (psi)}} \times 100\%$$

Keterangan :

P1 : tekanan pada penetrasi 0,1” (psi)

P2 : tekanan pada penetrasi 0,2” (psi)

1000 psi : angka standar tegangan penetrasi pada penetrasi 0,1 in

1500 psi : angka standar tegangan penetrasi pada penetrasi 0,2 in

Perhitungan :

- Kadar air rencana = kadar air optimum – kadar air asli
- Kadar air normal = kadar air rencana x berat benda uji
- Penambahan additive = persentase additive x kadar air normal
- Penambahan air = kadar air normal – persentase penambahan additive

Maka didapat jumlah penambahan air dan sirtu dengan kadar air optimum dan γ_{smaks} yang konstan. Setelah itu dilanjutkan dengan pengujian CBR (*California Bearing Ratio*).

3. Pengujian kuat tekan bebas

Kuat tekan bebas adalah besarnya tekanan aksial (kg/cm^2 atau kn/m^2), yang diperlukan untuk menekan suatu silinder tanah sampai pecah atau besarnya tekanan yang memberikan pemendekan tanah sebesar 20 %, apabila sampai dengan pemendekan 20 % tersebut tanah tidak pecah. Tujuan pengujian kuat tekan bebas adalah untuk menentukan kuat tekan bebas tanah kohesif. Pengujian kuat tekan bebas dapat dilakukan pada tanah asli atau contoh tanah padat buatan.

Perhitungan kuat tekan bebas dapat menggunakan rumus :

a) Regangan aksial pada pembebanan yang dibaca

$$\varepsilon = \Delta L / L_0$$

keterangan : ΔL : pemendekan tinggi benda uji

L_0 : tinggi benda uji semula

b) Luas penampang benda uji dengan koreksi akibat pemendekan

$$A = A_0 / (1 - \varepsilon)$$

Keterangan : A_0 : luas penampang benda uji (cm^2)

ε : regangan

c) Tekanan aksial yang bekerja pada benda uji pada setiap pembebanan

$$\sigma = P / A$$

keterangan : P : beban yang bekerja (kg/cm^2)